

УДК 621.9

к.т.н. Костенко А. В.
(КамчатГТУ, г. Петропавловск-Камчатский, РФ),
д.т.н. Михайлов А. Н.,
к.т.н. Матвиенко С. А.,
к.т.н. Лукичев А. В.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР)

СТРУКТУРА СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ФУНКЦИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Приведена объектная модель классификационных систем деталей машин, методов отделочно-упрочняющей обработки и средств технологического обеспечения. Средства технологического обеспечения представлены как комплекс на базе объектно ориентированного подхода в виде множества элементов полной структуры средств. Получено выражение, которое полностью определяет структуру средств.

Ключевые слова: *средства технологического обеспечения, функционально ориентированная технология, отделочно-упрочняющая обработка, классификационная схема, структура, объектная модель.*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Одной из задач, стоящих перед современным машиностроением, является проектирование технологических процессов (ТП) для изготовления деталей, работающих в сложных эксплуатационных условиях, например, цилиндровых втулок судовых дизелей [1].

Профессор Базров Б. М. в своей работе [2] обозначил проблему стихийного развития средств технологического обеспечения (СТО) технологических процессов, а также классификационных систем СТО и наметил пути их решения на основе модульного подхода.

В работе [3] рассмотрены особенности классификационных схем в функционально ориентированных технологиях (ФОТ) машиностроения на основе объектно ориентированного подхода (ООП), в частности приведена объектная модель изделия судового машиностроения в нотации UML (Unified Modeling Language). В работе [4] рассмотрена многоаспектная классификация компонентов агрегатов. В монографии профессора Михайлова А. Н. [5] описаны основные положения ФОТ в машиностроении и среди прочего отмечается, что СТО

строятся на базе структуры функционально ориентированного технологического процесса, структуры каждой операции и схем технологического воздействия орудий и средств обработки на изделия.

Одной из проблем процесса проектирования ФОТ является подбор или разработка СТО. Стихийное их развитие и отсутствие связей между классификациями технологических процессов, методов, изделий и СТО являются актуальными проблемами современного машиностроения.

Целью статьи является установление взаимосвязи между классификационными схемами средств технологического обеспечения, методами отделочно-упрочняющей обработки и деталей агрегатов, а также разработка структуры средств технологического обеспечения.

Изложение материала и его результаты. Приведенная на рисунке 1 объектная модель классификационных систем деталей машин и методов отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) показывает взаимосвязь между методами ОУО и эксплуатационными свойствами функциональных элементов деталей.

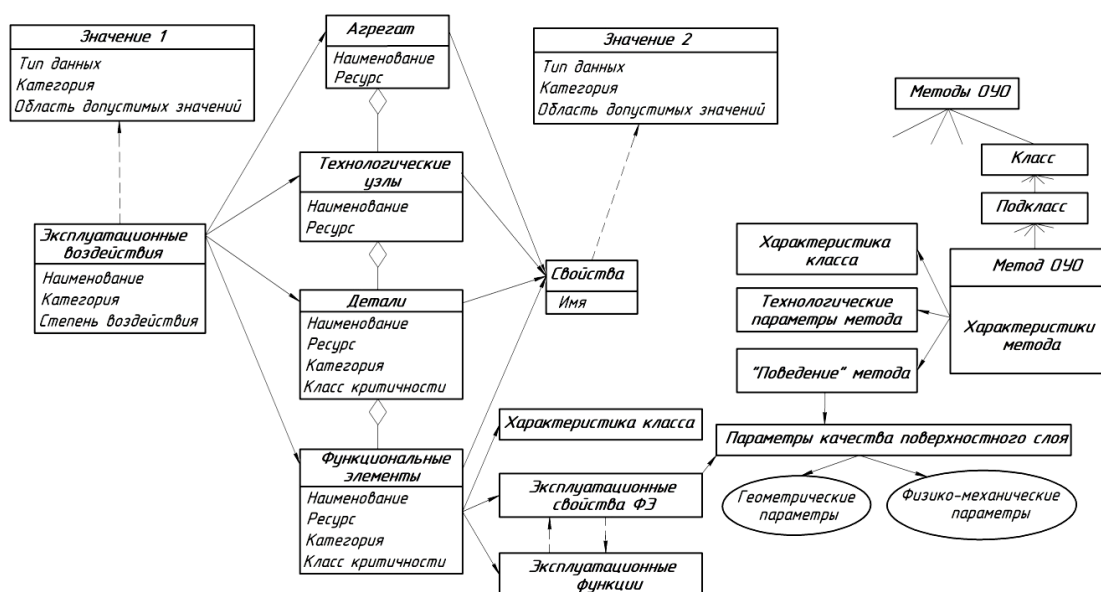


Рисунок 1 Объектная модель классификационных систем деталей машин и методов ОУО в нотации UML

Методы ОУО, используемые для реализации показателей качества, вытекающих из эксплуатационных свойств, должны быть обеспечены соответствующими СТО, включающими в себя (рис. 2) оборудование, приспособления, инструментальную наладку и измерительные средства.

Каждая составляющая СТО представляет собой множество, обладающее своими характерными классификационными схемами, также отличающимися большим разнообразием. Однако в рамках применения одного метода используемый набор СТО должен быть, безусловно, взаимосвязан.



Рисунок 2 Средства технологического обеспечения ТП

Тогда весь комплекс СТО на базе ООП можно представить как множество элементов полной структуры СТО, т. е. совокупность множеств, обладающих определённым набором характеристик:

$$Y = \begin{cases} N = \{N_1, N_2, N_3\}; \\ P = \{P_1, P_2, P_3\}; \\ Q = \{Q_1, Q_2, Q_3\}; \\ S = \{S_1, S_2, S_3\}. \end{cases} \quad (1)$$

Множества N , P , Q и S являются соответственно множествами оборудования, приспособлений, инструментальных наладок и измерительных средств. При этом каждое множество системы (1) обладает следующими характеристиками:

N_1 , P_1 , Q_1 , S_1 — характеристики класса, в который входят соответственно применяемое оборудование, приспособления, инструментальные наладки и измерительные средства. Например, оборудование для лазерной закалки, с одной стороны, является представителем технологических методов ОУО с изменением структуры поверхностного слоя, с другой — входит в класс лазерных установок и может клас-

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

сифицироваться по следующим признакам [6]: мощности излучения, режиму работы, длине волны генерируемого излучения, методам накачки, способам отвода тепла, назначению, активному элементу, конструктивному исполнению. Характеристики этих признаков на основе принципа наследования позволяют выделять в параметрах лазерной установки для закалки такие общие параметры, которые являются общими для всех лазерных установок.

N_2, P_2, Q_2, S_2 — характеристики непосредственно используемого оборудования, приспособлений, инструментальных наладок и измерительных средств, что пред-

ределяет его технологические возможности применения. На основе принципа полиморфизма эта группа характеристик выделяет параметры, характерные только для применяемого СТО в соответствующем методе ОУО.

N_3, P_3, Q_3, S_3 — характеристики функционирования, что в контексте ФОТ означает наличие характеристик, определяющих особенности воздействия оборудования, приспособлений, инструментальных наладок и измерительных средств на объект.

Взаимосвязи описанных выше элементов (изделия, методов ОУО и СТО) в единой системе показаны на рисунке 3.

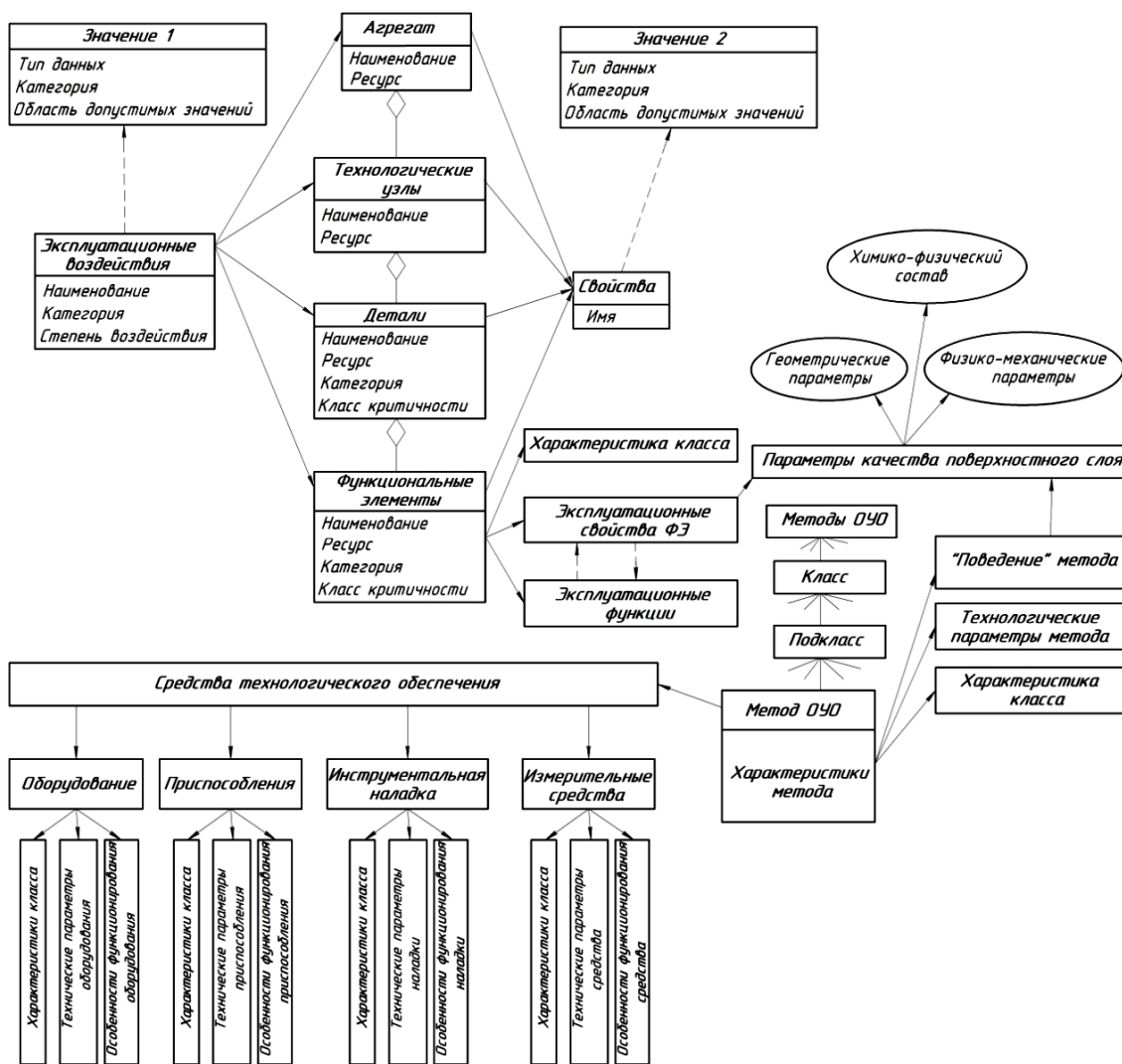


Рисунок 3 Объектная модель классификационных систем деталей машин, методов ОУО и СТО

В случае если необходимо использовать специальное технологическое оснащение, то следует учитывать, что оснащение для функционально ориентированных технологий может строиться с использованием следующих составляющих: мехатронного технологического оснащения; механизмов малых перемещений для различного технологического оборудования; адаптивных систем управления для различного технологического оборудования; специальных технологических лазеров, плазматронов, вакуумных ионно-плазменных устройств; специального оснащения.

Для реализации конкретной функционально ориентированной операции и изготовления изделия на базе особой группы ориентации технологических воздействий и свойств этих технологий в каждом конкретном случае должно строиться своё специализированное технологическое обеспечение [5].

СТО для функционально ориентированных технологических процессов имеют специальные принципы проектирования и предназначены в основном для выполнения технологических воздействий орудий и средств обработки только на конкретные изделия в сложных эксплуатационных условиях.

Структура СТО является изоморфным отображением и реализацией функционально ориентированного процесса ОУО. Изоморфным отображением называется отношение между двумя системами типов «технологический процесс» и «технологический объект», когда каждой составной части одной системы может быть поставлена в соответствие определённая составная часть другой системы и наоборот. А также когда для каждого отношения между двумя соответствующими составными частями имеется такое же отношение в другой системе и наоборот. Это даёт возможность сопоставить структуру ТП структуре СТО при её структурном анализе [7].

Частично структура СТО известна на основании предварительно разработанной структуры ТП. При этом используется го-

моморфное отображение множеств элементов и отношений ТП на множества элементов и отношений СТО. Гомоморфное отображение — это отношение между двумя системами типов «технологический процесс» и «технологический объект», когда каждую составную часть и каждое отношение системы типа «технологический процесс» можно отобразить на некоторую составную часть и некоторое отношение системы типа «технологический объект» (но не обратно). Используя гомоморфное отображение можно перенести структуру ТП на структуру СТО. Гомоморфное отображение множеств элементов и отношений структуры технологического процесса на множества элементов и отношений структуры СТО математически можно представить следующим образом:

$$\varphi_1 : X \rightarrow Y_T; \quad (2)$$

$$\varphi_2 : E \rightarrow A_T, \quad (3)$$

где X — множество формализованных элементов структуры технологического процесса; Y_T — множество формализованных элементов структуры СТО только в технологической зоне; E — множество отношений между элементами структуры технологического процесса; A_T — множество отношений между элементами структуры СТО в технологической зоне; φ_1 — отображение множеств элементов структуры; φ_2 — отображение множеств отношений структуры.

Структура СТО, составленная из множеств (2) и (3), будет частичной и отражает её только в технологической зоне. Для реализации полной структуры СТО эти множества необходимо дополнить:

$$Y = Y_T \cup Y_B; \quad (4)$$

$$A = A_T \cup A_B, \quad (5)$$

где Y — множество формализованных элементов полной структуры СТО; Y_B — множество формализованных элементов структуры СТО вне технологической зоны;

A — множество отношений между элементами полной структуры СТО; A_B — множество отношений между элементами структуры СТО вне технологической зоны.

Если

$$Y = \{N, P, Q, S\} \quad (6)$$

есть множество элементов полной структуры СТО, а

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \quad (7)$$

является множеством отношений между элементами СТО, то структура СТО представляет собой множество, состоящее из Y и A :

$$Str = \{Y, A\}, \quad (8)$$

где Str — структура СТО.

Элементами структуры могут быть различные элементы в зависимости от того, на каком иерархическом уровне глубины технологии рассматривается структура. При этом множество Y определяется на основании замыкания подмножеств Y_T и Y_B в рекуррентные структурные группы.

Структура СТО представляет собой в общем случае совокупность элементов и отношений между ними. Структура СТО на i -м уровне глубины технологии представляет собой совокупность, упорядоченных множеств y_i и a_i , которую можно представить следующим образом:

$$Str_i = \{y_i, a_i\}, \quad (9)$$

где Str_i — структура СТО на i -ом уровне глубины технологии; y_i — множество элементов СТО на i -м уровне глубины технологии; a_i — множество отношений на множестве y_i .

Множества y_i и a_i имеют вид:

$$y_i = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iv_i}\}, \quad (10)$$

где y_{iv_i} — v_i -й элемент множества y_i ;

$$a_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iv_i}\}, \quad (11)$$

где a_{iv_i} — v_i -е отношение между элементами множества y_i .

Структуру СТО можно представить объединением двух её составляющих, а именно в пространственной технологической зоне и вне неё (вспомогательная зона), в соответствии с выражением

$$Str_i = Str_i^T \cup Str_i^B, \quad (12)$$

где Str_i^T — структура СТО на i -м уровне глубины технологии в пространственной технологической зоне; Str_i^B — структура СТО на i -м уровне глубины технологии вне пространственной технологической зоны.

В этом случае множества y_i и a_i можно записать:

$$y_i = y_{iT} \cup y_{iB}, \quad (13)$$

где y_{iT} — подмножество элементов множества y_i , размещённое в пространственной технологической зоне СТО на i -м уровне глубины технологии; y_{iB} — подмножество элементов (БТВ) множества y_i , размещённое вне пространственной технологической зоны СТО на i -м уровне глубины технологии;

$$a_i = a_{iT} \cup a_{iB}, \quad (14)$$

где a_{iT} — подмножество отношений множества a_i , действующее в подмножестве y_{iT} ; a_{iB} — подмножество отношений множества a_i , действующее в подмножестве y_{iB} .

Параметры подмножеств y_{iT} и a_{iT} можно определить на основании гомоморфного отображения элементов множеств i -го технологического подпроцесса на элементы подмножеств СТО на i -м уровне глубины технологии:

$$\varphi_1 : x_i \rightarrow y_{iT}, \quad (15)$$

$$\varphi_2 : e_i \rightarrow a_{iT}. \quad (16)$$

Множества элементов x_i и отношений e_T и подмножества элементов y_{iT} и отношений a_{iT} имеют между собой взаимно однозначное соответствие. Взаимно однозначное соответствие между двумя множествами, например x_i и y_{iT} , есть такое отображение множества x_i в множество y_{iT} , при

котором каждый элемент множества y_{iT} является образом одного и только одного элемента множества x_i . В связи с этим можно заключить, что параметры подмножеств y_{iT} и a_{iT} определены и соответствуют параметрам множеств структуры i -го технологического подпроцесса.

В общем виде структуру подмножеств y_{iT} и a_{iT} можно записать так:

$$Str_i^T = \{y_{iT}, a_{iT}\}. \quad (17)$$

Далее следует определить структуру СТО на i -м уровне глубины технологии вне технологической зоны. Для нахождения элементов этой структуры необходимо воспользоваться следующими выражениями:

$$\psi_1 : G_i(T_{Bi}) \rightarrow y_{iB}, \quad (18)$$

где ψ_1 — отображение множеств; $G_i(T_{Bi})$ — множество интервалов структуры СТО на i -м уровне глубины технологии вне технологической зоны в зависимости от величины вспомогательного времени T_{Bi} ;

$$\psi_2 : H(T_{Bi}) \rightarrow a_{iB}, \quad (19)$$

где ψ_2 — отображение множеств; $H_i(T_{Bi})$ — множество отношений на множестве $G_i(T_{Bi})$.

Библиографический список

1. Костенко, А. В. Синтез структуры функционально-ориентированного процесса изготовления цилиндрических втулок на основе анализа работы судовых дизелей [Текст] / А. В. Костенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 176–186.
2. Базров, Б. М. Модульная технология в машиностроении [Текст] / Б. М. Базров. — М. : Машиностроение, 2001. — 368 с.
3. Костенко, А. В. Особенности классификации и представления деталей в функционально-ориентированной технологии машиностроения [Текст] / А. В. Костенко, А. Н. Михайлов, А. Н. Полетайкин // Механика XXI века. — 2019. — № 18. — С. 179–186.
4. Михайлов, А. Н. Особенности классификации и представления деталей в функционально-ориентированной технологии машиностроения [Текст] / А. Н. Михайлов, А. В. Костенко, А. Н. Полетайкин // Актуальные проблемы в машиностроении. — 2019. — Т. 6. — № 1–4. — С. 41–47.
5. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий [Текст] / А. Н. Михайлов. — Донецк : ДонНТУ, 2009. — 346 с.
6. Кирсанов, В. В. Классификация лазеров по физико-техническим параметрам и степени опасности для биоты [Текст] / В. В. Кирсанов, Л. Ф. Миннеханова // XVI международная научная конференция, посвященная 15-летию реализации принципов Хартии Земли в Республике Татарстан : сб. тр. конф.. — Казань : Фолиант, 2016. — С. 278–284.

В этом случае структура СТО на i -м уровне глубины технологии вне технологической зоны будет иметь следующую математическую запись:

$$Str_i^B = \{y_{iB}, a_{iB}\}. \quad (20)$$

Полученное выражение (20) полностью определяет структуру СТО на i -ом уровне глубины технологии.

Выводы и направление дальнейших исследований. Представленная в работе объектная модель классификационных систем деталей машин, методов ОУО и СТО позволяет на основе объектно ориентированного подхода комплексно подходить к проектированию ТП изготовления деталей машин, в том числе деталей судовых агрегатов, работающих в сложных эксплуатационных условиях. При этом структура СТО может быть сопоставлена со структурой ТП, что даёт возможность разрабатывать или подбирать СТО в соответствии с операциями ТП на базе функционально ориентированных технологий машиностроения.

Дальнейшие исследования будут направлены на адаптацию основных положений ФОР на производство и ремонт деталей судовых агрегатов, в частности судовых дизелей.

7. Михайлов, А. Н. Основы проектирования и автоматизации производственных процессов на базе технологий непрерывного действия [Текст] / А. Н. Михайлов. — Донецк : ДонНТУ, 2006. — 421 с.

© Костенко А. В.
© Михайлов А. Н.
© Матвиенко С. А.
© Лукичев А. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МСМО ДонНТУ Гусевым В. В.,
к.т.н., проф. каф. ТОМП ДонГТУ Зелинским А. Н.*

Статья поступила в редакцию 11.02.20.

к.т.н. Костенко А. В. (КамчатДТУ, м. Петропавловськ-Камчатський, РФ, andr13kost@list.ru),
д.т.н. Михайлов О. М., к.т.н. Матвиенко С. А., к.т.н. Лукичев О. В. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)
**СТРУКТУРА ЗАСОБІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ФУНКЦІОНАЛЬНО
ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

Наведено об'єктну модель класифікаційних систем деталей машин, методів оздоблювально-зміцнюючої обробки і засобів технологічного забезпечення. Засоби технологічного забезпечення представлено як комплекс засобів на базі об'єктно орієнтованого підходу у вигляді безлічі елементів повної структури засобів. Отримано рівняння, яке повністю визначає структуру засобів.

Ключові слова: засоби технологічного забезпечення, функціонально орієнтована технологія, оздоблювально-зміцнююча обробка, класифікаційна схема, структура, об'єктна модель.

PhD in Engineering Kostenko A. V. (KamchatkaSTU, Petropavlovsk-Kamchatsky, the Russian Federation, andr13kost@list.ru), **Doctor of Technical Sciences Mikhailov A. N.,**
PhD in Engineering Matvienko S. A., PhD in Engineering Lukichev A. V. (DonNTU, Donetsk, DPR)
**STRUCTURE OF TECHNOLOGICAL SUPPORT TOOLS IN FUNCTIONAL-ORIENTED
TECHNOLOGIES**

The object model of classification systems of machine parts, methods of finishing and strengthening processing and technological support tools is given. Technological support tools are presented as a set of tools based on an object-oriented approach as a set of elements of the complete structure of tools. The obtained expression fully defines the structure of tools.

Key words: technological support tools, functional-oriented technology, finishing and strengthening processing, classification scheme, structure, object model.